

S/N: TBA

10/22/2003

Docket No.: SUG-173-USAP

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Serial No.: TO BE ASSIGNED

Confirmation No.: TO BE ASSIGNED

Applicant: Masato YAMADA

Art Unit: TO BE ASSIGNED

Filed: October 22, 2003

Examiner: TO BE ASSIGNED

Docket No: SUG-173-USAP

Customer No: 28892

For: Light Emitting Device and Method of Fabricating the Same

PRIORITY DOCUMENT TRANSMITTAL

US Patent & Trademark Office
2011 South Clark Place
Customer Window
Crystal Plaza Two, Lobby, Room 1B03
Arlington, VA 22202

Sir:

In accordance with the provisions of 37 CFR 1.55 and the requirements of 35 U.S.C. 119, attached hereto is a certified copy of the priority document, Japanese Patent Application No. 2002-308940, filed on October 23, 2002, Japanese Patent Application No. 2002-308951, filed on October 23, 2002, Japanese Patent Application No. 2002-349205, filed on November 29, 2002, Japanese Patent Application No. 2002-349259, filed on November 29, 2002, and Japanese Patent Application No. 2002-378578, filed on December 26, 2002.

It is respectfully requested that applicant be granted the benefit of the filing date of the foreign application and that receipt of this priority document be acknowledged in due course.

Respectfully submitted,



Ronald R. Snider
Reg. No. 24,962

Date: October 22, 2003
Snider & Associates
Ronald R. Snider
P.O. Box 27613
Washington, D.C. 20038-7613

Tel.: 202-347-2600

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application:

2002年10月23日

出願番号
Application Number:

特願 2002-308940

[ST. 10/C] :

[JP 2002-308940]

出願人
Applicant(s):


信越半導体株式会社
株式会社ナノテック

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康夫

2003年 9月16日

出証番号 出証特 2003-3076032

 【書類名】 特許願

【整理番号】 AX0229352S

【提出日】 平成14年10月23日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

 【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会社 磯部工場内

 【氏名】 山田 雅人

【発明者】

 【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会社 半導体磯部研究所内

 【氏名】 能登 宣彦

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市枳形 6 - 5 - 2 フローラルガーデン向ヶ丘遊園 3 0 8

 【氏名】 野崎 眞次

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区久が原 4 - 5 - 7

 【氏名】 内田 和男

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県鶴ヶ島市鶴が丘 2 7 - 1 6 - 6 0 6

 【氏名】 森崎 弘

【特許出願人】

 【持分】 001/002

 【識別番号】 000190149

 【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

【特許出願人】

【持分】 001/002
【識別番号】 501045021
【氏名又は名称】 株式会社ナノテコ

【代理人】

【識別番号】 100095751
【弁理士】
【氏名又は名称】 菅原 正倫
【電話番号】 052-212-1301

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003388
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9901665
【包括委任状番号】 0201235

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

前記酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

前記酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置されてなり、

さらに、前記活性層と前記電極接合層との間に位置する前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満とされたことを特徴とする発光素子。

【請求項 2】 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の前記酸化物透明電極層側に接して配置され、該第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層とを有する請求項 1 記載の発光素子。

【請求項 3】 前記クッション層の厚さが $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下とされたことを特徴とする請求項 1 記載の発光素子。

【請求項 4】 前記ボンディング側半導体層は、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満の前記第二導電型クラッド層よりなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の発光素子。

【請求項 5】 前記第一導電型クラッド層が前記第二導電型クラッド層よりも薄く形成されたことを特徴とする請求項 4 記載の発光素子。

【請求項 6】 前記酸化物透明電極層は ITO 電極層であり、前記電極接合層は、前記 ITO 電極層との接合界面において $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq$

1)であることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項7】 前記電極接合層の厚さ方向における I_n 濃度分布が、前記ITO電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとされていることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項8】 前記電極接合層を構成する半導体として、これと接する前記ボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さいものを使用し、かつ、前記電極接合層中のドーパント濃度を前記ボンディング側半導体層部分よりも高く設定したことを特徴とする請求項1、6及び7のいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項9】 前記電極接合層は、ドーパント濃度が前記ボンディング側半導体層と同じか、またはそれよりも低いことを特徴とする請求項1、6及び7のいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項10】 前記電極接合層は、前記ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域において周囲の第二領域よりも形成面積率が小さいことを特徴とする請求項1、6、7、8及び9のいずれか1項にのいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項11】 前記第一領域に前記電極接合層が形成されていないことを特徴とする請求項10記載の発光素子。

【請求項12】 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子の製造方法において、

前記発光層部の前記活性層上に、前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満となり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満となるように形成する工程と、

前記ボンディング側半導体層上に、前記酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層を形成する工程と、

前記酸化物透明電極層を、前記電極接合層と接し、かつ前記第二導電型クラッド層の主表面を覆うように形成する工程と、

該酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドを形成する工程と、

該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する工程と、

をこの順序にて行なうことを特徴とする発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は発光素子及び発光素子の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

【特許文献1】

特開平1-225178号公報

【特許文献2】

米国特許公報第5789768号

【0003】

$(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 混晶（ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ （以下、 $AlGaInP$ 混晶、あるいは単に $AlGaInP$ と記載する）により発光層部が形成された発光素子は、薄い $AlGaInP$ 活性層を、それよりもバンドギャップの大きい n 型 $AlGaInP$ クラッド層と p 型 $AlGaInP$ クラッド層とによりサンドイッチ状に挟んだダブルヘテロ構造を採用することにより、高輝度の素子を実現できる。また、近年では、 $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ， $x + y \leq 1$ ）を用いて同様のダブルヘテロ構造を形成した青色発光素子も実用化されている。

【0004】

例えば、 $AlGaInP$ 発光素子を例に取れば、 n 型 $GaAs$ 基板上にヘテロエピタキシャル成長させる形にて、 n 型 $GaAs$ バッファ層、 n 型 $AlGaInP$ クラッド層、 $AlGaInP$ 活性層、 p 型 $AlGaInP$ クラッド層をこの順序にて積層し、ダブルヘテロ構造をなす発光層部を形成する。発光層部への通電

は、素子表面に形成された金属電極を介して行なわれる。ここで、金属電極は遮光体として作用するため、例えば発光層部主表面の中央部のみを覆う形で形成され、その周囲の電極非形成領域から光を取り出すようにする。

【0005】

この場合、金属電極の面積をなるべく小さくしたほうが、電極の周囲に形成される光漏出領域の面積を大きくできるので、光取出し効率を向上させる観点において有利である。従来、電極形状の工夫により、素子内に効果的に電流を拡げて光取出量を増加させる試みがなされているが、この場合も電極面積の増大はいずれにしろ避けがたく、光漏出面積の減少により却って光取出量が制限されるジレンマに陥っている。また、クラッド層のドーパントのキャリア濃度ひいては導電率は、活性層内でのキャリアの発光再結合を最適化するために多少低めに抑えられており、面内方向には電流が広がりにくい傾向がある。これは、電極被覆領域に電流密度が集中し、光漏出領域における実質的な光取出量が低下してしまうことにつながる。そこで、クラッド層と電極との間に、キャリア濃度（ドーパント濃度）を高めた低抵抗率の電流拡散層を形成する方法が、特許文献2にて採用されている。電流拡散層は、有機金属気相成長法（MetalOrganic Vapor Phase Epitaxy：MOVPE法）や、液相エピタキシャル成長法（Liquid Phase Epitaxy：LPE法）により形成される。

【0006】

また、化合物半導体よりなる電流拡散層に代えて、あるいは電流拡散層と共に、高導電率の酸化物透明電極層（例えば、ITO（Indium Tin Oxide）透明電極層）を、発光層部表面を覆うように形成する提案が、例えば特許文献1あるいは特許文献2に開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記のような発光素子においては、素子最表面に金属製のボンディングパッドを配置し、そのボンディングパッドに接合された電極ワイヤを介して発光層部への通電がなされる。特許文献1に開示された酸化物透明電極層を用いる発光素子の構成では、ごく薄い電極接合層を介して酸化物透明電極層が発光層

部に接するように形成される。酸化物透明電極層は導電率が金属並に高いため、厚さが小さくとも十分な電流拡散効果が得られる。しかし、電極ワイヤをボンディングパッドへ接合しようとする、接合による損傷の影響が発光層部に及びやすく、不良を生じやすい欠点がある。

【0008】

他方、化合物半導体よりなる電流拡散層を用いる構成では、電流拡散層は、面内方向に電流を十分に拡げるために、層厚をある程度大きく設定することが必要である。電流拡散層の厚さが大きくなることで、ワイヤを接合する際の損傷の影響はある程度吸収できるため、不良発生の問題は生じにくい。しかし、このような電流拡散層は導電率を高めるために、ドーパント濃度を高める必要があるが、これにより次のような問題を生じやすくなる。

【0009】

発光素子は、通電を継続するに伴い発光輝度が次第に低下する。例えば、一定電流により素子への通電を開始した直後に測定した発光輝度を初期輝度とし、積算通電時間の経過に従い減少する発光輝度を追跡したとき、発光輝度が予め定められた限界輝度に到達する時間、あるいは評価通電時間を一定値（例えば1000時間）に固定したときの、初期輝度に対する評価通電時間経過後の輝度の比（以下、これを素子ライフと称する）は、素子寿命を評価するための一定の尺度となりえる。

【0010】

電流拡散層を有する発光素子は、通電初期段階においては、クラッド層内のドーパント濃度は適正な値を保持されているが、通電を継続すると、電流拡散層内の高濃度のドーパント原子の、クラッド層および活性層内への拡散が、電気的な要因により促される。その過剰なドーパント濃度およびドーパント原子の拡散促進に伴って格子欠陥等が形成されると、活性層内またはP型クラッド層と活性層の界面には、非発光再結合中心となる電気的な準位が形成される。その結果、発光再結合確率が下がり、強度低下を引き起こす。すなわち、発光輝度の経時的な劣化が進みやすくなり、素子ライフが低下することにつながる。

【0011】

また、MOVPE法やLPE法により成長しようとする、成長温度が高いために、ドーパント濃度を本来低く留めたいクラッド層側にドーパントが拡散しやすくなる問題もある。さらに、厚い電流拡散層を成長させるには長時間を要し、原料も多く必要になることから、製造能率の低下とコストの増大を招きやすくなる。

【0012】

本発明の課題は、酸化物透明電極層を発光駆動用の電極として有し、かつ電極ワイヤをボンディングパッドへ接合する際の損傷の影響が発光層部に及びにくい発光素子と、その製造方法とを提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段及び作用・効果】

上記の課題を解決するために、本発明の発光素子は、

第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置されてなり、

さらに、活性層と電極接合層との間に位置する第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満とされたことを特徴とする。

【0014】

また、本発明の発光素子の製造方法は、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子の製造

方法において、

発光層部の前記活性層上に、第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満となり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満となるように形成する工程と、

ボンディング側半導体層上に、酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層を形成する工程と、

酸化物透明電極層を、該電極接合層と接し、かつ第二導電型クラッド層の主表面を覆うように形成する工程と、

該酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドを形成する工程と、

該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する工程と、
をこの順序にて行なうことを特徴とする。

【0015】

上記本発明によると、発光層部の活性層上に、第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満となり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満となるように形成し、該ボンディング側半導体層上に酸化物透明電極層を形成し、該酸化物透明電極層上のボンディングパッドに電極ワイヤを接合するようにした。ITO等の酸化物透明電極層は、ボンディング側半導体層と直接接合しようとしたとき、良好なオーミック接合が必ずしも形成されず、接触抵抗に基づく直列抵抗増大により発光効率が低下することがある。そこで、ボンディング側半導体層と酸化物透明電極層との間に、該酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層を、該酸化物透明電極層に接するように配置する。そして、ボンディング側半導体層が上記のごとく形成されているので、接合時に損傷領域が仮に生じても、該損傷領域の影響はボンディング側半導体層の表層部に留まり、活性層にその影響が及びにくくなる。

【0016】

例えばワイヤの接合を、超音波溶接や、これにさらに熱を付加するサーモソニックボンディングにより行なう場合、ボンディングパッド直下の化合物半導体層

には、超音波や加熱（さらには加圧）による衝撃応力が集中し、転位などの結晶欠陥が損傷として導入される。その損傷領域が活性層部に及んだ場合、具体的には次のような不具合を招く。

①発光輝度の直接的な低下。結晶欠陥による非発光遷移過程の増加が原因として考えられる。

②素子ライフの低下。転位の形成された発光層に通電を継続すると、転位に電流が集中して転位の増殖が起りやすくなり、発光輝度の経時的な劣化を引き起こす。

しかしながら、本発明の採用により、上記の不具合を効果的に回避することができる。

【0017】

他方、本発明の発光素子においては、第二導電型クラッド層を含むボンディング側半導体層のドーパント濃度を、上記のように比較的低く設定してある。その結果、第二導電型クラッド層内のドーパント原子の、電気的な拡散促進による濃度上昇が生じにくくなり、活性層に対する損傷領域の影響が軽減されていることも相俟って、素子ライフの大幅な向上を図ることができる。

【0018】

第二導電型クラッド層を含むボンディング側半導体層は、ドーパント濃度が比較的低いので面内方向の導電率は小さいが、シート抵抗の小さい酸化物透明電極層をその上に形成しておくことで、面内方向の電流拡散効果は十分に達成することができる。従って、ボンディング側半導体層は、層厚方向の導電性さえ十分に確保しておけば、結果として発光層部への均一な通電が可能となり、発光効率を高めることができる。

【0019】

ボンディング側半導体層の厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 未満になると、接合による損傷の影響が活性層に及びやすくなり、発光強度や素子ライフの低下につながる。他方、ボンディング側半導体層のドーパント濃度は比較的低く留められているので、その厚さが $10\ \mu\text{m}$ 以上になると、素子の直列抵抗が過度に増大する不具合につながる。

【0020】

ボンディング側半導体層のドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満では素子の直列抵抗が増大し、素子の順方向電圧の上昇を招く。また、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上になると、活性層内でのキャリアの発光再結合が進みにくくなり、発光効率の低下を招く。

【0021】

発光素子においては、発光再結合が活性層の p 型クラッド層との界面付近で生じやすいことを考慮すれば、光取出面側に位置するボンディング側半導体層は p 型層として構成することが望ましい。この場合、多数キャリア源となる p 型ドーパントとしては、III-V 族化合物半導体を用いる場合、Zn や Mg を使用できる。III-V 族化合物半導体よりなる発光層部としては、 $(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_y \text{In}_{1-y} \text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$; 以下、「AlGaInP」) と記載する) 又は $\text{In}_x \text{Ga}_y \text{Al}_{1-x-y} \text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x + y \leq 1$; 以下、「InGaAlN」) と記載する) により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものを例示できる。

【0022】

ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、該第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層とすることができる。このようなクッション層を配置することにより、接合時に損傷領域が仮に生じても、その大半はクッション層内部に留まり、活性層はもちろん、第二導電型クラッド層にもその影響が及びにくくなり、発光強度や素子ライフの劣化をより効果的に抑制できる。

【0023】

また、クッション層は、これと接する第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度を有しているので、クッション層から第二導電型クラッド層内へのドーパント原子の流入が抑制され、素子ライフの大幅な向上を図ることができる。また、成長時にドーパントが第二導電型クラッド層に逆拡散する不具合も生じにく

い。

【0024】

クッション層は、発光層部からの光をなるべく吸収しない材質にて構成することが、光取出し効率を向上させる上で望ましい。そのためには、クッション層をなす化合物半導体として、発光層部の活性層よりもバンドギャップの大きいものを使用することが有効である。AlGaInPにて発光層部を構成する場合、クッション層の具体的な材質として、AlGaAs、GaP、GaAsP、AlGaAsPを例示できる。また、クッション層を薄く形成すると、光吸収抑制の観点において有利に作用する。クッション層の厚さは、具体的には0.1 μm 以上5 μm 以下に調整することが望ましい。クッション層の厚さが0.1 μm 未満では、ボンディング側半導体層の全厚が不足しやすくなり、電極ワイヤ接合時の影響が発光層部へ及びやすくなる。また、クッション層の厚さが5 μm を超えると、ドーパント濃度が低く抑えられているために層厚方向の抵抗率が増し、素子の直列抵抗増大による発光効率低下につながる。また、厚いクッション層を成長させるには長時間を要し、原料も多く必要になることから、製造能率の低下とコストの増大を招きやすい。クッション層の厚さは0.5 μm 以上3 μm 以下とすることがより望ましい。

【0025】

一方、ボンディング側半導体層は、厚さが0.6 μm 以上10 μm 未満の第二導電型クラッド層よりなるものとして構成してもよい。つまり、第二導電型クラッド層を必要十分な厚さとすることで、損傷領域が活性層に及ぶことが防止可能である。また、同一材質のクラッド層の成長厚さを増大させるだけであるから、製造も容易である。この場合、第一導電型クラッド層は、ワイヤ接合に伴う損傷の影響を考慮する必要がないので、第二導電型クラッド層よりも薄く形成することが、製造コスト削減の観点において望ましい。

【0026】

酸化物透明電極層は、例えばITOにて構成できる。ITOは、酸化スズをドーパした酸化インジウム膜であり、酸化スズの含有量を1～9質量%とすることで、電極層の抵抗率を $5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の十分低い値とすることができ

る。なお、ITO電極層以外では、ZnO電極層が高導電率であり、本発明に採用可能である。また、酸化アンチモンをドーピングした酸化スズ（いわゆるネサ）、 Cd_2SnO_4 、 Zn_2SnO_4 、 ZnSnO_3 、 MgIn_2O_4 、酸化イットリウム（Y）をドーピングした CdSb_2O_6 、酸化スズをドーピングした GaInO_3 なども酸化物透明電極層の材質として使用することができる。これらの酸化物透明電極は可視光に対して良好な透過性を有し（つまり、透明であり）、発光層部への電圧印加用電極として用いる場合、光の取出しを妨げない利点がある。また、該酸化物透明電極層上に形成されるボンディングパッドを介して素子駆動用の電圧を印加したとき、電流を面内に広げて発光を均一化し高効率化する役割も担う。これらの酸化物透明電極は、公知の気相成膜法、例えば化学蒸着法（chemical vapor deposition: CVD）あるいはスパッタリングや真空蒸着などの物理蒸着法（physical vapor deposition: PVD）、あるいは分子線エピタキシャル成長法（molecular beam epitaxy: MBE）にて形成することができる。例えば、ITO層やZnO電極層は高周波スパッタリング又は真空蒸着により製造でき、また、ネサ膜はCVD法により製造できる。また、これら気相成長法に代えて、ゾルゲル法など他の方法を用いて形成してもよい。

【0027】

電極接合層は、具体的には、Alを含有せず、かつバンドギャップエネルギーが比較的小さい（例えば1.42 eV未満）化合物半導体からなるものを好適に採用することができる。このような電極接合層を用いることにより、良好なオーミックコンタクトが得られ、また、Al成分酸化による抵抗増加も生じにくい。

【0028】

酸化物透明電極層がITO電極層の場合、電極接合層は、例えばInGaAs層やGaAs層を使用することができる。該電極接合層は、（少なくとも）ITO電極層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ （ $0 < x \leq 1$ ）となっていることにより、接触抵抗低減効果を特に高めることができる。（ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$ ） $_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ）により発光層を形成する場合、GaAs層をITO電極層と接するように形成し、その後、熱処理を行なうことにより、ITO電極層からGaAs層にInを拡散させて、Inを含

有したGaAsよりなる電極接合層となすことができる。この場合、電極接合層の厚さ方向におけるIn濃度分布は、ITO電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなる。また、電極接合層は、ITO電極層との接合界面において、必ず $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ よりなるものとなる。

【0029】

電極接合層はInGaAsを直接エピタキシャル成長する方法を採用してもよいのであるが、上記の方法を採用すると、次のような利点がある。すなわち、ボンディング側半導体層のこれと接する部分が、AlGaAs、GaPあるいはAlGaInPにて構成されている場合、GaAs層はこれらの化合物半導体と格子整合が極めて容易であり、InGaAsを直接エピタキシャル成長する場合と比較して、均質で連続性のよい膜を形成できる。

【0030】

そして、そのGaAs層上にITO電極層を形成した後、熱処理することにより、ITO電極層からGaAs層にInを拡散させて電極接合層とする。このように熱処理して得られるInを含有したGaAsよりなる電極接合層は、In含有量が過剰とならず、ボンディング側半導体層との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化を効果的に防止することができる。

【0031】

電極接合層の厚さ方向におけるIn濃度分布は、図9の①に示すように、ITO電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなるようにする（つまり、発光層部側にてIn濃度が小さくなるように、In濃度分布に傾斜をつける）ことが望ましい。こうした構造は、熱処理により、ITO側から電極接合層側へInを拡散させることにより形成される。発光層部をAlGaInPにより形成する場合、電極接合層のIn濃度分布が該発光層部側で小さくなっていれば、発光層部との格子定数差が接近し、発光層部と電極接合層との格子整合性をより高めることができる。熱処理温度が過度に高くなったり、あるいは熱処理時間が長大化すると、ITO電極層からのIn拡散が過度に進行して、図9の③に示すように、電極接合層内のIn濃度分布が厚さ方向にほぼ一定の高い値を示すようになり、上記の効果は得られなくなる（なお、熱処理温度が過度に低くな

ったり、あるいは熱処理時間が過度に短時間化すると、図 9 の②に示すように、電極接合層内の In 濃度が不足することにつながる）。

【0 0 3 2】

この場合、図 9 において、電極接合層の、ITO 電極層との境界位置における In 濃度を C_A とし、これと反対側の境界近傍における In 濃度を C_B としたとき、 C_B/C_A が 0.8 以下となるように調整することが望ましく、該形態の In 濃度分布が得られるように、前述の熱処理を行なうことが望ましい。 C_B/C_A が 0.8 を超えると、 In 濃度分布傾斜による発光層部との格子整合性改善効果が十分に得られなくなる。なお、電極接合層の厚さ方向の組成分布（ In あるいは Ga 濃度分布）は、層を厚さ方向に徐々にエッチングしながら、二次イオン質量分析（Secondary Ion Mass Spectroscopy：SIMS）、オージェ電子分光分析（Auger Electron Spectroscopy）、X 線光電子分光（X-ray Photoelectron Spectroscopy：XPS）などの周知の表面分析方法により測定することができる。

【0 0 3 3】

電極接合層の ITO 電極層との境界近傍における In 濃度は、 In と Ga との合計濃度に対する In の原子比にて、0.1 以上 0.6 以下とされることが望ましく、上記の熱処理もこのような In 濃度が得られるように行なうことが望ましい。上記定義による In 濃度が 0.1 未満になると、電極接合層の接触抵抗低減効果が不十分となり、0.6 を超えると電極接合層と発光層部との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化が甚だしくなる。なお、電極接合層の ITO 電極層との境界近傍における In 濃度が、 In と Ga との合計濃度に対する In の原子比にて、例えば前述の望ましい値（0.1 以上 0.6 以下）を確保できるのであれば、電極接合層の、ITO 電極層に面しているのと反対側の境界近傍での In 濃度 C_B がゼロとなっていること、つまり、図 10 に示すように、電極接合層の ITO 電極層側に InGaAs 層が形成され、反対側の部分が GaAs 層となる構造となっても差し支えない。

【0 0 3 4】

ITO は、前述の通り酸化スズをドーブした酸化インジウム膜であり、ITO

電極層をGaAs層上に形成し、さらにこれを適正な温度範囲にて熱処理することにより、上記望ましいIn濃度を有した電極接合層を容易に形成できる。また、この熱処理により、ITO電極層の電気抵抗率をさらに低減できる。この熱処理は、電極接合層内のIn濃度が過剰とならないよう、なるべく低温で短時間に行なうことが望ましい。

【0035】

上記In拡散の熱処理は、600℃以上750℃以下に行なうことが望ましい。熱処理温度が750℃を超えるとGaAs層へのInの拡散速度が大きくなりすぎ、電極接合層中のIn濃度が過剰となりやすくなる。また、In濃度が飽和して、電極接合層の厚さ方向に傾斜したIn濃度分布も得にくくなる。いずれも、電極接合層とボンディング側半導体層との格子整合が悪化することにつながる。また、GaAs層へのInの拡散が過度に進みすぎると、電極接合層との接触部付近にてITO電極層のInが枯渇し、電極の電気抵抗値の上昇が避けがたくなる。さらに、熱処理温度が750℃を超えて高温になりすぎると、ITOの酸素がGaAs層へ拡散して酸化が促進され、素子の直列抵抗が上昇しやすくなる。いずれも適正な電圧で発光素子を駆動できなくなる不具合につながる。また、熱処理温度が極端に高くなると、ITO電極層の導電率がかえって損なわれる場合がある。他方、熱処理温度が600℃未満になると、GaAs層へのInの拡散速度が小さくなりすぎ、接触抵抗を十分に低下させた電極接合層を得るのに非常な長時間を要するようになるので、製造能率の低下が甚だしくなる。

【0036】

また、熱処理時間は、5秒以上120秒以下の短時間に設定することが望ましい。熱処理時間が120秒より長くなると、特に、熱処理温度が上限値に近い場合、GaAs層へのInの拡散量が過剰となりやすくなる（ただし、熱処理温度を低めに留める場合は、これよりも長い熱処理時間（例えば300秒程度まで）を採用することも可能である）。他方、熱処理時間が5秒未満になると、GaAs層へのInの拡散量が不足し、接触抵抗を十分に低下させた電極接合層が得にくくなる。

【0037】

電極接合層とクッション層との接触抵抗は、発光素子の通電を長時間継続しても低い値に安定的に維持されること、つまり、接触抵抗の経時的な増大が生じにくくなっていることが重要である。接触抵抗の低減を図る一つの方法としては、電極接合層にクッション層と同じ導電型のドーパントを添加することが有効である。この場合、電極接合層へのドーパント添加量が高くなるほど、接触抵抗をより低くすることができる。なお、電極接合層からクッション層へドーパント拡散が比較的生じやすくなっている場合には、電極接合層のドーパント添加量がクッション層よりも過度に高くなっていると、発光通電時において電極接合層からクッション層へのドーパント拡散が電氣的に促進されやすくなることがあり、電極接合層のドーパント量が次第に枯渇する場合がある。すると、発光通電を継続するに伴い電極接合層の接触抵抗が経時的に増加し、素子ライフの低下を招くことにつながる。

【0038】

このような不具合を抑制するには、電極接合層中のドーパント濃度をクッション層よりも高く設定しつつ、電極接合層を構成する半導体として、これと接するクッション層よりもバンドギャップエネルギーが小さいものを使用することが望ましい。電極接合層側のバンドギャップエネルギーをクッション層よりも小さく設定することにより、電極接合層中のドーパント濃度をある程度高くしても、クッション層へのドーパント原子の拡散が生じにくくなり、電極接合層の接触抵抗が経時的に増加することを効果的に抑制することができる。

【0039】

例えば、酸化物透明電極層がITO電極層の場合、電極接合層は、少なくともITO電極層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) となっているものを使用することが望ましい。この場合、ボンディング側半導体層との接合側において電極接合層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$) とすることができ、ボンディング側半導体層は、これよりもバンドギャップエネルギーの大きい半導体として、例えば $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 < y \leq 1$) により構成することができる。ボンディング側半導体層は、この他、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが高くなるように混晶比が調整されたGaInP層、AlGa

InP層、GaP層、GaAsP層あるいはAlGaAsP層により構成することも可能である。

【0040】

また、電極接合層のドーパント濃度自体を下げることにより、クッション層への拡散を抑制する方法も可能である。この場合、電極接合層のドーパント濃度は、ボンディング側半導体層と同じか又はそれよりも低いことが望ましい。また、電極接合層は、低ドーピングであっても酸化物透明電極層とのコンタクト抵抗が十分低くなり、かつ、ボンディング側半導体層との接触抵抗も同様に低くなっていることが必要であり、具体的には、ボンディング側半導体層との間に極端に高いヘテロ接合障壁が形成されないものを使用することが望ましい。例えば、電極接合層を、ITO層側からInを拡散させたGaAsにて構成する場合、クッション層を、InAs混晶比 y が比較的小さい $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ （例えば、 $0 \leq y \leq 0.2$ ）にて構成する組合せを例示できる。

【0041】

次に、電極接合層は、中間層を介してボンディング側半導体層と結合することもできる。該中間層は、これと接するボンディング側半導体層と電極接合層との中間のバンドギャップエネルギーを有する化合物半導体により構成される。ボンディング側半導体層と電極接合層とのバンド端不連続値が大きい場合は、図11に示すように、接合によるバンドの曲がりにより、形成されるヘテロ障壁の高さ ΔE が大きくなり、コンタクト抵抗の増大につながる。そこで、図12に示すように、電極接合層とボンディング側半導体層との間に、それら電極接合層とボンディング側半導体層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層を挿入すると、電極接合層と中間層、及び中間層とボンディング側半導体層とのそれぞれはバンド端不連続値が小さくなるので、各々形成される障壁高さ ΔE も小さくなる。その結果、直列抵抗が軽減されて、低い駆動電圧にて十分に高い発光強度を達成することが可能となる。

【0042】

ボンディング側半導体層が、該中間層と接する領域までAlGaInPよりなる第二導電型クラッド層となっている場合は、電極接合層との中間のバンドギャ

ップエネルギーを有する中間層として、具体的には、AlGaAs層、GaInP層及びAlGaInP層（バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの）の少なくとも一つを含むものを好適に採用することができ、例えばAlGaAs層を含むものとして形成することができる。他方、該中間層と同様の組成のクッション層が設けられる場合は、中間層の役割をこのクッション層に委ねることで、中間層を特に設けず、電極接合層をクッション層に接するように配置する構成も十分採用可能である。

【0043】

なお、電極接合層を酸化物透明電極層の素子側への接合面全面を被覆するように形成すると、ワイヤ接合用のボンディングパッドの直下領域でも酸化物透明電極層の接触抵抗が改善される結果、駆動電流ひいては発光が該領域に集中しやすくなり、発生した光の多くがボンディングパッドにより遮蔽されて光取出効率の低下を招く場合がある。そこで、電極接合層は、ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域において周囲の第二領域よりも形成面積率が小さくなっていることが望ましい。なお、各領域の電極接合層の形成面積率とは、領域中の電極接合層の合計面積を、領域の全面積により割った比率をいう。このように構成すると、第一領域における酸化物透明電極層の接触抵抗が増大する。その結果、発光素子の駆動電流は、第一領域を迂回して第二領域に流れる成分が大きくなり、光取出効率を大幅に高めることができる。なお、光取り出し量が少ない第一領域にはなるべく発光駆動電流が流れないことが光取出効率向上の観点においては望ましい。従って、第一領域には電極接合層が可及的に形成されていないことが望ましい。

【0044】

電流拡散効果を高めるために電流拡散層を厚く形成した従来の発光素子においては、ボンディングパッドの直下領域外に電流を迂回させるために、電流拡散層中に逆の導電型を有するブロック層を埋め込み形成していたが、素子構造が複雑化し、製造工数も増大する欠点がある。しかし、上記構成によると、ボンディングパッド直下の第一領域において電極接合層の形成を抑制することで、その外側の領域、すなわち第二領域への電流迂回効果を簡単に達成することができる。ま

た、酸化物透明電極層の下側に形成されているのは、シート抵抗の低いクッション層であるから、第二領域へ迂回した形で流れ込んだ電流が、クッション層内で第一領域側へ逆流する不具合も生じにくい。

【0045】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の一実施形態である発光素子100を示す概念図である。発光素子100は、n型GaAs単結晶基板（以下、単に「基板」ともいう）7の一方の主表面上に、n型GaAsバッファ層2を介してAlGaInPよりなる発光層部24を形成し、該発光層部24を覆うように、p型のクッション層20と、酸化物透明電極層としてのITO電極層30とをこの順序で形成したものである。さらに、ITO電極層30のほぼ中央部には、Au等にて構成されたボンディングパッド9が配置され、ここにAu等で構成された電極ワイヤ47が接合されている。他方、基板7の他方の主表面側には、Au-Ge-Ni合金等の金属からなる裏面電極層15が全面に形成されている。

【0046】

発光層部24は、各々 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 混晶とされるときも、第一導電型クラッド層4、第二導電型クラッド層6、及び第一導電型クラッド層4と第二導電型クラッド層6との間に位置する活性層5からなるダブルヘテロ構造とされている。具体的には、ノンドープ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.45 \leq y \leq 0.55$ ）混晶からなる活性層5を、p型 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ クラッド層6とn型 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ クラッド層4とにより挟んだ構造となっている。図1の発光素子100では、クッション層20側にp型AlGaInPクラッド層6（p型ドーパントはZn：有機金属分子からのCもp型ドーパントとして寄与しうる）が配置されており、裏面電極層15側にn型AlGaInPクラッド層4（n型ドーパントはSi）が配置されている。なお、当業者には自明のことであるが、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行なわない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有（例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする）をも排除するもの

ではない。

【0047】

p型AlGaInPクラッド層6は、p型キャリア濃度（多数キャリア濃度）は、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満、望ましくは、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下である。また、クッション層20は、本実施形態ではZnをp型ドーパントとして添加したAlGaAs層（例えば $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ において、 $x=0.7$ 程度）よりなり、p型ドーパント濃度は、 $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下、望ましくは $9 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $6 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の範囲内で、p型AlGaInPクラッド層6よりも小さく設定されている。該クッション層20の厚さ t_2 は $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下、望ましくは $0.5 \mu\text{m}$ 以上 $3 \mu\text{m}$ 以下である。p型AlGaInPクラッド層6とクッション層20とはボンディング側半導体層60を構成し、その厚さ t_1 （つまり、p型AlGaInPクラッド層6とクッション層20との合計厚さ）は $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満である。

【0048】

以下、図1の発光素子100の製造方法について説明する。

まず、図1に示すように、GaAs単結晶基板7の第一主表面に、n型GaAsバッファ層2を、次いで発光層部24として、n型AlGaInPクラッド層4、AlGaInP活性層5、及びp型AlGaInPクラッド層6（以上図1参照）、さらにAlGaAsよりなるクッション層20をこの順序にエピタキシャル成長させ、図2（a）の状態とする。これら各層のエピタキシャル成長は、公知の有機金属気相エピタキシャル成長（MetalOrganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE）法により行なうことができる。Al、Ga、In、P及びAsの各成分源となる原料ガスとしては以下のようなものを使用できる；

- ・ Al源ガス；トリメチルアルミニウム（TMA1）、トリエチルアルミニウム（TEA1）など；
- ・ Ga源ガス；トリメチルガリウム（TMGa）、トリエチルガリウム（TEGa）など；
- ・ In源ガス；トリメチルインジウム（TMI n）、トリエチルインジウム（T

E I n) など。

・ P 源ガス；ターシャルブチルホスフィン (T B P)、ホスフィン (P H₃) など。

・ A s 源ガス；ターシャルブチルアルシン (T B A)、アルシン (A s H₃) など。

【0049】

また、ドーパントガスとしては、以下のようなものを使用できる；

(p 型ドーパント)

・ M g 源：ビスシクロペンタジエニルマグネシウム (C p₂ M g) など。

・ Z n 源：ジメチル亜鉛 (D M Z n)、ジエチル亜鉛 (D E Z n) など。

(n 型ドーパント)

・ S i 源：モノシランなどのシリコン水素化物など。

【0050】

上記各層の成長は、原料ガスの切り替えにより、同一の気相成長装置内で連続的に行なうことができる。また、各層のドーパント濃度は、原料ガスに対するドーパントガスの供給比率により、所望の値に調整することができる。

【0051】

次に、図 2 (b) に示すように、クッション層 20 を覆うように、公知の高周波スパッタリング法により、I T O よりなる I T O 電極層 30 を形成する。また、図 2 (c) に示すように、基板 7 の第二主表面に真空蒸着法により裏面電極層 15 を形成する。そして、図 2 (d) に示すように、I T O 電極層 30 上に、各発光素子チップに対応する領域毎にボンディングパッド 9 を配置し、適当な温度で電極定着用のベーキングを施すことにより、発光素子ウェーハ 50 が得られる。該発光素子ウェーハ 50 は、各発光素子チップ領域を分離するために図 3 (a) に示すようにハーフダイシングされ、さらに (b) に示すようにダイシング面の加工歪をメサエッチングにより除去した後、(c) に示すスクライビングにより発光素子チップ 51 に分離される。そして、(d) に示すように、裏面電極層 15 (図 3 参照) を A g ペースト等の導電性ペーストを用いて支持体を兼ねた端子電極 9 a に固着する一方、ボンディングパッド 9 に電極ワイヤ 47 を接合 (ボ

ンディング) し、(e) に示すように樹脂モールド 52 を形成することにより発光素子 100 が得られる。

【0052】

各々 Au よりなるボンディングパッド 9 に電極ワイヤ 47 を接合する場合、例えば、超音波溶接 (あるいはサーモソニックボンディング) が用いられる。この超音波溶接の衝撃応力は、ITO 電極層 30 を経てボンディングパッド 9 の直下のボンディング側半導体層 60 に及び、結晶欠陥等の損傷領域 DM を形成する。例えば、図 5 に示すように、ITO 電極層 30 の直下に発光層部 24 が形成されていると、その損傷領域 DM が発光層部 24 の奥深く、例えば活性層 5 にまで及び、発光輝度や素子ライフの低下など、特性不良につながる。しかし、本発明の発光素子においては、図 4 に示すように、クッション層 20 が介在しているため、損傷領域 DM がクッション層 20 内に留まり、その影響が発光層部 24 の奥深くに及びにくいので、その分、発光輝度が損なわれる心配がない。

【0053】

また、このクッション層 20 は、p 型ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の範囲内で、p 型 AlGaInP クラッド層 6 よりも小さく設定されている。これにより、発光通電を継続したときに、クッション層 20 から p 型 AlGaInP クラッド層 6 への p 型ドーパントの拡散の、電氣的促進が生じにくくなり、素子ライフが向上する。p 型 AlGaInP クラッド層 6 の p 型ドーパント濃度は、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であり、ボンディング側半導体層 60 全体で見た場合、 $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満の範囲に収まっている。

【0054】

また、図 6 に示すように、クッション層 20 は、ドーパント濃度が低いのでシート抵抗は多少大きいですが、その上に導電率が非常に大きい ITO 電極層 30 が形成されているので、該 ITO 電極層 30 内にて電流を十分に拡げることができる。そして、クッション層 20 は、p 型ドーパント濃度を前述の範囲に調整することで、層厚方向の導電性は十分に確保されているから、結果として発光層部 24 への均一な通電が可能となり、発光効率を高めることができる。

【0055】

また、図1に示すように、ITO電極層30とクッション層20との間には、ITO電極層30と接する形で電極接合層31を形成し、ITO電極層30との接触抵抗を低減する。該電極接合層31は、ITO電極層30との境界を含む部分が少なくともInGaAsとされた化合物半導体層であり、例えば次のようにして形成することができる。すなわち、図1のクッション層20上にGaAs層を形成して、さらにこれをITO電極層30で覆い、その状態で炉の中に配置して、例えば窒素雰囲気中あるいはAr等の不活性ガス雰囲気中にて、600℃以上750℃以下（例えば700℃）の低温で、5秒以上120秒以下（例えば30秒）の短時間の熱処理を施す。これにより、ITO電極層20からGaAs層にInが拡散し、電極接合層31（図1）が得られる。該熱処理により電極接合層31は、図9①において、ITO電極層との境界近傍におけるIn濃度 C_A が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下となる。また、In濃度は、ITO電極層20から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなり、ITO電極層20との境界近傍におけるIn濃度を C_A とし、これと反対側の境界位置におけるIn濃度を C_B としたとき、 C_B/C_A が0.8以下となるように調整される。該電極接合層31は、これと接するボンディング側半導体層部分、すなわち、クッション層20がAlGaAsにて構成されることも考慮し、接触抵抗を低減するために、p型ドーパント濃度が高く（例えば $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 程度）設定されている。

【0056】

また、ボンディングパッド9は発光層部24からの光の大部分を遮蔽するため、発光層部24においてボンディングパッド9の直下領域、つまり光取り出し量が少ない第一領域に通電電流が集中しないこと、むしろ、ボンディングパッド9の周囲の光取り出し量が多い第二領域に通電電流がなるべく多く分配されることが、光取出効率を高める上で望ましい。そこで、図1の実施形態では、電極接合層31は、ボンディングパッド9の直下領域をなす光取り出し量が少ない第一領域には形成されず、その周囲の光取り出し量が多い第二領域にのみ選択的に形成されている。ボンディングパッド9の直下領域において電極接合層31を作為的

に非形成とすることで、この領域ではITO電極層30の接触抵抗が高くなり電流が流れにくくなる。その結果、図6に示すように、ITO電極層30を介して発光層部24に通電される電流は、光取り出し量が少ない第一領域を迂回して光取り出し量が多い第二領域に優先的に分配され、光取出効率を高めることができる。

【0057】

なお、図7に示すように、第二領域に形成する電極接合層31は、形成領域と非形成領域とを混在させることができる。また、光取り出し量が多い第二領域において電極接合層31の形成領域と非形成領域とを混在させることにより、発光層部24で生じた光は電極接合層31を透過する経路と、非形成領域において電極接合層31を迂回する経路との2通りの経路にて取り出される。このうち、後者においては、電極接合層31を透過する際の光吸収を生じないので、光取出効率を向上させることができる。

【0058】

図7(a)～(c)に示すように、電極接合層31の形成領域は、ITO電極層30の接合界面において分散形成することにより、発光層部24における発光をより均一化し、かつ電極接合層31の非形成領域からより均一に光を取り出すことができる。図7(a)は電極接合層31の形成領域を散点状とした例であり、(b)は細長い帯状の電極接合層31の形成領域と非形成領域とを交互に形成した例である。さらに、(c)は、(a)とは逆に、電極接合層31の形成領域を背景として、散点状の非形成領域をこれに分散形成した例である。ここでは電極接合層31の形成領域を格子状に形成している。特に、正方形換算にて一辺が $400\mu\text{m}$ 以上の大面積の発光素子の場合、均一な面発光を可能とするため、ボンディングパッド9以外の領域の全面積に対して、電極接合層31の形成領域の面積比率を10%以上(100%含む)とすることが望ましい。また、ボンディングパッド9の被覆面積率が1%以上10%以下とすることが、光取出し効率を向上させる観点において望ましい。

【0059】

また、図8に示すように、ボンディング側化合物半導体層60の全体(ただし

、中間層 32 はボンディング側化合物半導体層 60 に属さないものとして考える) を、p 型 AlGaInP クラッド層 (第二導電型クラッド層) 6 として構成することも可能である。この場合、p 型 AlGaInP クラッド層 6 の厚さ t_1 を $0.6\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満とし、その p 型ドーパント濃度を $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満に調整する。

【0060】

この場合、n 型 AlGaInP クラッド層 4 は、電極ワイヤ 47 の接合による損傷の影響がほとんど及ばないため、その厚さ t_3 は p 型 AlGaInP クラッド層 6 より小さく設定することができる。また、この態様においても、図 1 と同様に、ITO 電極層 30 と接する電極接合層 31 を設ける。この場合、In を含有した GaAs よりなる電極接合層 31 を、p 型 AlGaInP クラッド層 6 に直接接触させると両者の間に形成されるヘテロ障壁がやや高くなり、接触抵抗の増大を招くことがある。そこで、電極接合層 31 と p 型 AlGaInP クラッド層 6 との間には、AlGaAs 層、GaInP 層及び AlGaInP 層 (バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの) 等よりなる中間層 32 を形成することがより望ましい。

【0061】

以上の実施形態では、発光層部 24 の各層を AlGaInP 混晶にて形成していたが、該各層 (p 型クラッド層 6、活性層 5 及び n 型クラッド層 4) を AlGaInN 混晶により形成することもできる。この場合、発光層部 24 を成長させるための発光層成長用基板 7 は、GaAs 単結晶基板に代えて、例えば SiC 基板が使用される。

【0062】

【実施例】

以下、本発明の効果を確認するために行なった実験結果について説明する。

まず、各層を以下の厚さにて MOVPE 法により形成した発光素子ウェーハ 50 を用意した。

・ ITO 電極層 30 = 厚さ: $0.8\ \mu\text{m}$ (酸化錫含有率 = 7 質量% (残部は酸化インジウム)、高周波スパッタリングにて形成;

・電極接合層 31

厚さ：5 nm（ただし、ボンディングパッド直下領域のみ形成せず）

GaAs 層として形成し、p 型ドーパントとしての Zn を、ドーパント濃度が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 程度となるように拡散。その後、ITO 電極層 30 にて被覆し、700℃で30秒熱処理した；

・AlGaAs クッション層 20（組成：組成：Al_{0.7}Ga_{0.3}As）

Zn（p 型ドーパント）濃度： $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$

厚さ：0 μm、0.1 μm、0.5 μm、1.5 μm、3 μm、5 μm、10 μm；

・p 型 AlGaInP クラッド層 6（Al_{0.85}Ga_{0.15}）_{0.5}In_{0.5}P）

Zn（p 型ドーパント）濃度： $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$

厚さ：0.5 μm；

・AlGaInP 活性層 5（組成：（Al_{0.25}Ga_{0.75}）_{0.5}In_{0.5}P）

ノンドープ、厚さ：0.6 μm（発光波長 600 nm）；

・n 型 AlGaInP クラッド層 4（組成：（Al_{0.85}Ga_{0.15}）_{0.5}In_{0.5}P）

Si（n 型ドーパント）濃度： $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さ：1 μm。

【0063】

上記発光素子ウェーハは、図 2 及び図 3 にて説明済みの工程により素子化した。なお、素子チップの大きさは 300 μm 四方の正形状である。また、ボンディングパッド 9 は Au 製であり、寸法は直径 100 μm の円状である。このボンディングパッド 9 に Au 製電極ワイヤを、周知のサーモソニックボンディング装置によりボンディングした。

【0064】

得られた各素子は、以下の各特性を周知の方法にて測定した：

- ・発光輝度（I_v：通電電流値を 20 mA とした）；
- ・順方向電圧（V_F：通電電流値を 20 mA とした）。

また、通電電流を 3 0 m A に固定して 1 0 0 時間連続通電したときの、初期発光輝度と 1 0 0 時間通電後の発光輝度とを測定し、両者の比 (%) を素子ライフとして求めた。

【 0 0 6 5 】

表 1 は、p 型クラッド層 6 の Z n (p 型ドーパント) 濃度を $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さを $0.5 \mu\text{m}$ に設定する一方、クッション層 2 0 の Z n (p 型ドーパント) 濃度を $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ に設定し、両者の合計であるボンディング側半導体層の厚さを $0.5 \sim 1.1 \mu\text{m}$ の種々の値に設定したときの、発光輝度 I_v 、順方向電圧 V_F 及び素子ライフの測定結果を示すものである。

【 0 0 6 6 】

【表 1】

ボンディング側半導体層厚さ(μ m) (クッション層+P型クラッド層)	*0.5	0.6	1.0	2.0	3.5	3.5	*10.5
クッション層厚さ(μ m)	0	0.1	0.5	1.5	3	5	*10
I V (mCd)	62	73	83	74	77	80	81
V F (V)	1.89	1.88	1.91	1.90	1.95	1.98	2.1
素子ライフ(%)	30	80	100	100	100	100	100

*は本発明の範囲外であることを示す。

【0 0 6 7】

ボンディング側半導体層の厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満の範囲に収まっているものは、発光輝度が高く順方向電圧も小さい。しかし、ボンディング側半導体層の厚さが $0.6\ \mu\text{m}$ 未満になると、ボンディングパッド 9 へ電極ワイヤ 47 を接合したときの損傷が発光層部 24 に及び、発光輝度及び素子ライフの低下を招いていることがわかる。また、ボンディング側半導体層の厚さが $10\ \mu\text{m}$ 以上になると、直列抵抗増大により順方向電圧が上昇していることがわかる。

【0068】

表 2 は、p 型クラッド層 6 の厚さを $0.5\ \mu\text{m}$ 、クッション層 20 の厚さを $1\ \mu\text{m}$ （つまり、ボンディング側半導体層厚さは $1.5\ \mu\text{m}$ ）とし、両者の Zn（p 型ドーパント）濃度を種々の組合せに設定して、それぞれ素子ライフを測定した結果を示すものである。

【0069】

【表 2】

クラッド層ドーパント濃度: $3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$

クッション層ドーパント濃度(cm^{-3})	素子ライフ(%)
1×10^{17}	100
2×10^{17}	100
3×10^{17}	100
7×10^{18}	90

クラッド層ドーパント濃度: $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$

クッション層ドーパント濃度(cm^{-3})	素子ライフ(%)
1×10^{17}	100
3×10^{17}	100
5×10^{17}	95
1×10^{18}	80

クラッド層ドーパント濃度: $7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$

クッション層ドーパント濃度(cm^{-3})	素子ライフ(%)
3×10^{17}	90
5×10^{17}	90
7×10^{17}	85
1×10^{18}	70
* 2×10^{18}	40

*は本発明の範囲外であることを示す。

【0070】

この結果によると、クッション層 20 の Zn (p 型ドーパント) 濃度を p 型クラッド層 6 と同等又はそれよりも小さく設定することにより、逆に設定した場合よりも素子ライフが相対的に向上していることがわかる。また、クッション層 20 の Zn (p 型ドーパント) 濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上になると (つまり、ボンディング側半導体層の Zn (p 型ドーパント) 濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ を超えると)、素子ライフは大幅に低下していることがわかる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の発光素子の一実施形態を積層構造にて示す模式図。

【図 2】

図 1 の発光素子の製造工程の一例を示す説明図。

【図 3】

図 2 に続く説明図。

【図 4】

クッション層の第一の作用説明図。

【図 5】

クッション層を有さない発光素子における問題点を説明する図。

【図 6】

クッション層の第二の作用説明図。

【図 7】

電極接合層の形成パターンをいくつか例示して示す図。

【図 8】

本発明の発光素子の別実施形態を積層構造にて示す模式図。

【図 9】

電極接合層内の In 濃度分布の一例を模式的に示す図。

【図 10】

電極接合層内の In 濃度分布の別例を模式的に示す図。

【図 11】

中間層を形成しない場合の、電極接合層のバンド構造の例を示す模式図。

【図 1 2】

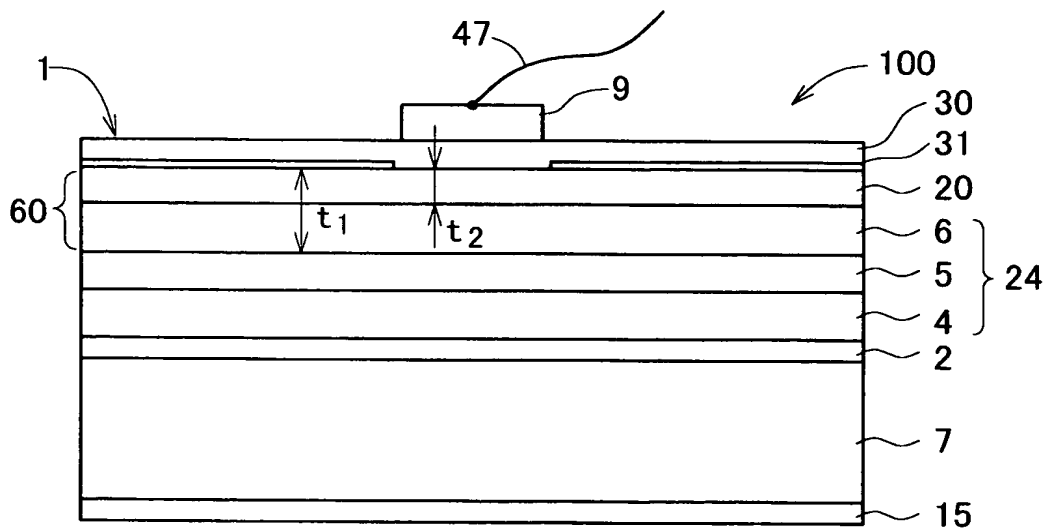
中間層を形成する場合の、電極接合層のバンド構造の例を示す模式図。

【符号の説明】

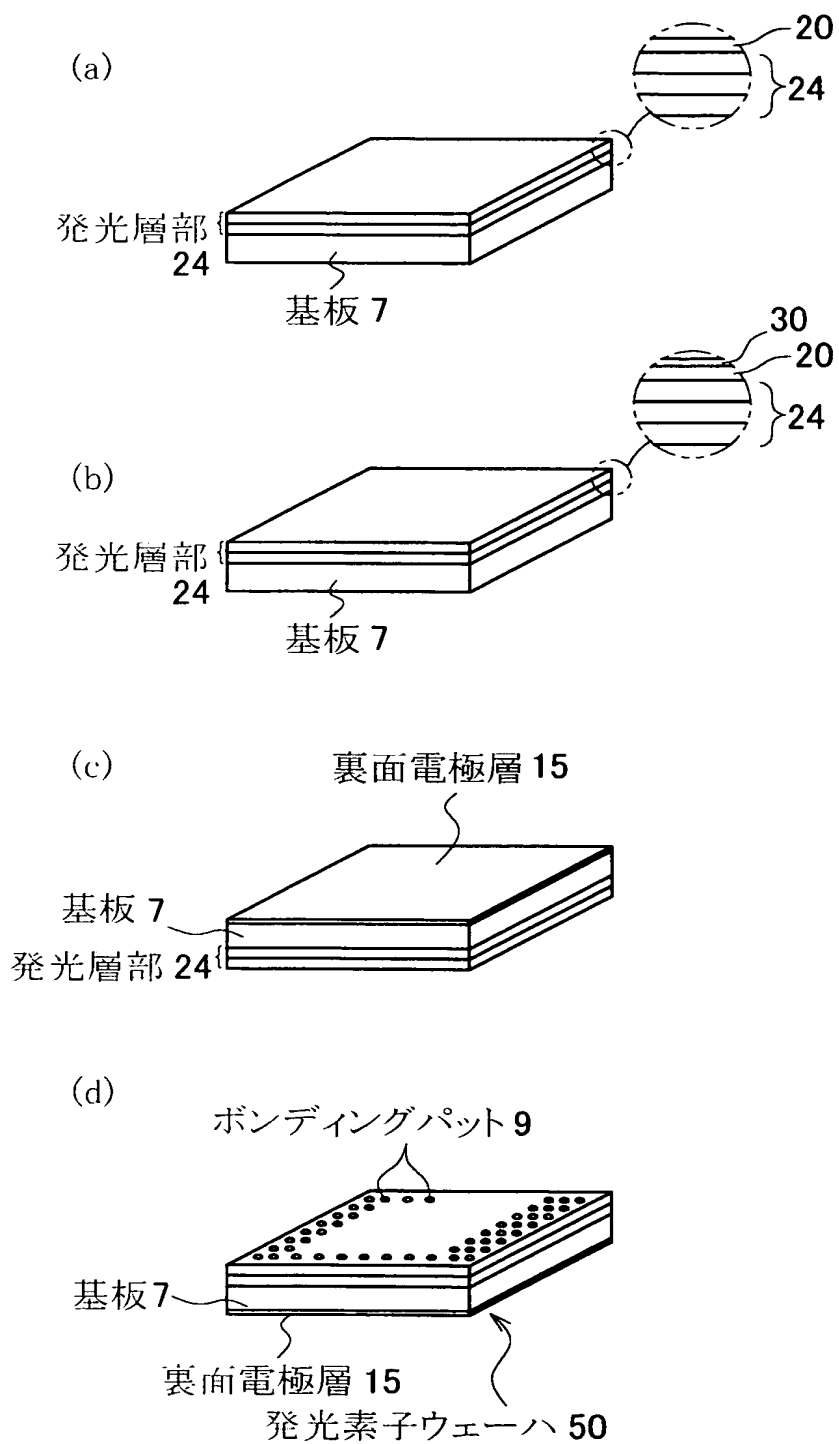
- 4 n 型クラッド層（第一導電型クラッド層）
- 5 活性層
- 6 p 型クラッド層（第二導電型クラッド層）
- 9 ボンディングパッド
- 2 4 発光層部
- 2 0 クッション層
- 3 0 酸化物透明電極層
- 3 1 電極接合層
- 3 2 中間層
- 6 0 ボンディング側半導体層
- 1 0 0 発光素子

【書類名】 図面

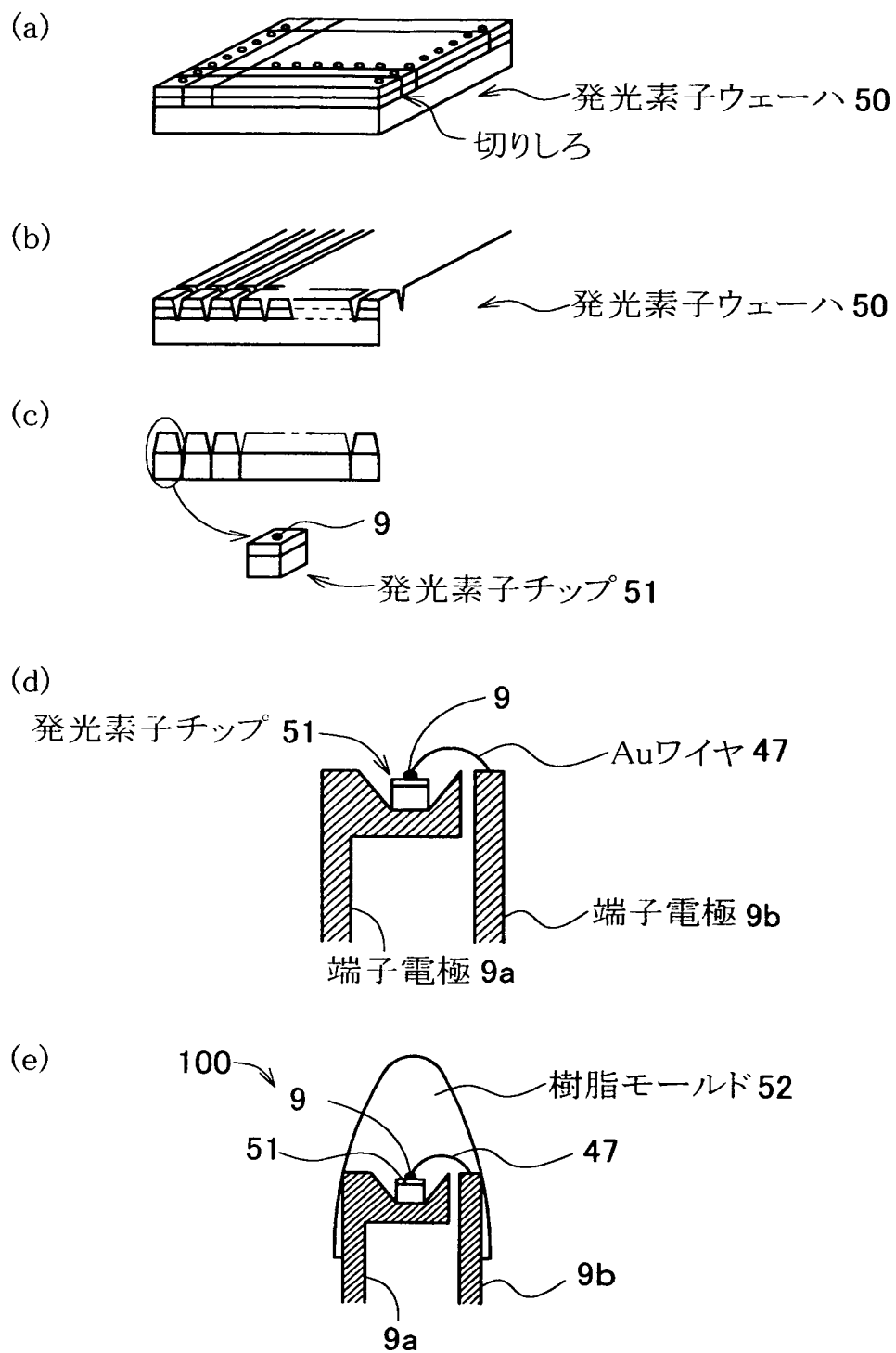
【図 1】



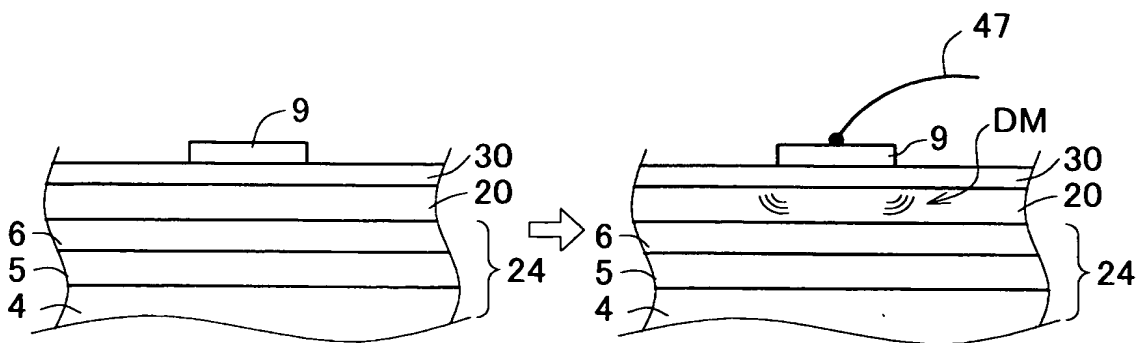
【図 2】



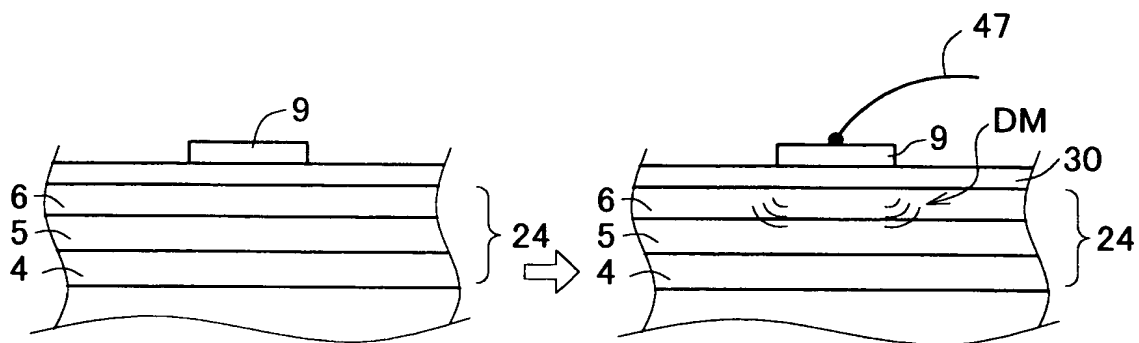
【図 3】



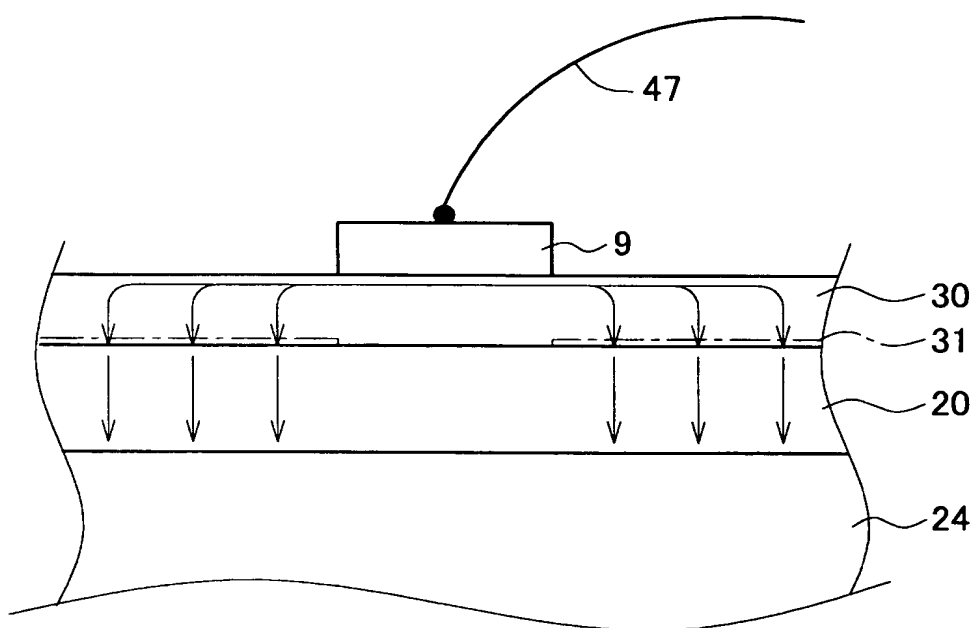
【図 4】



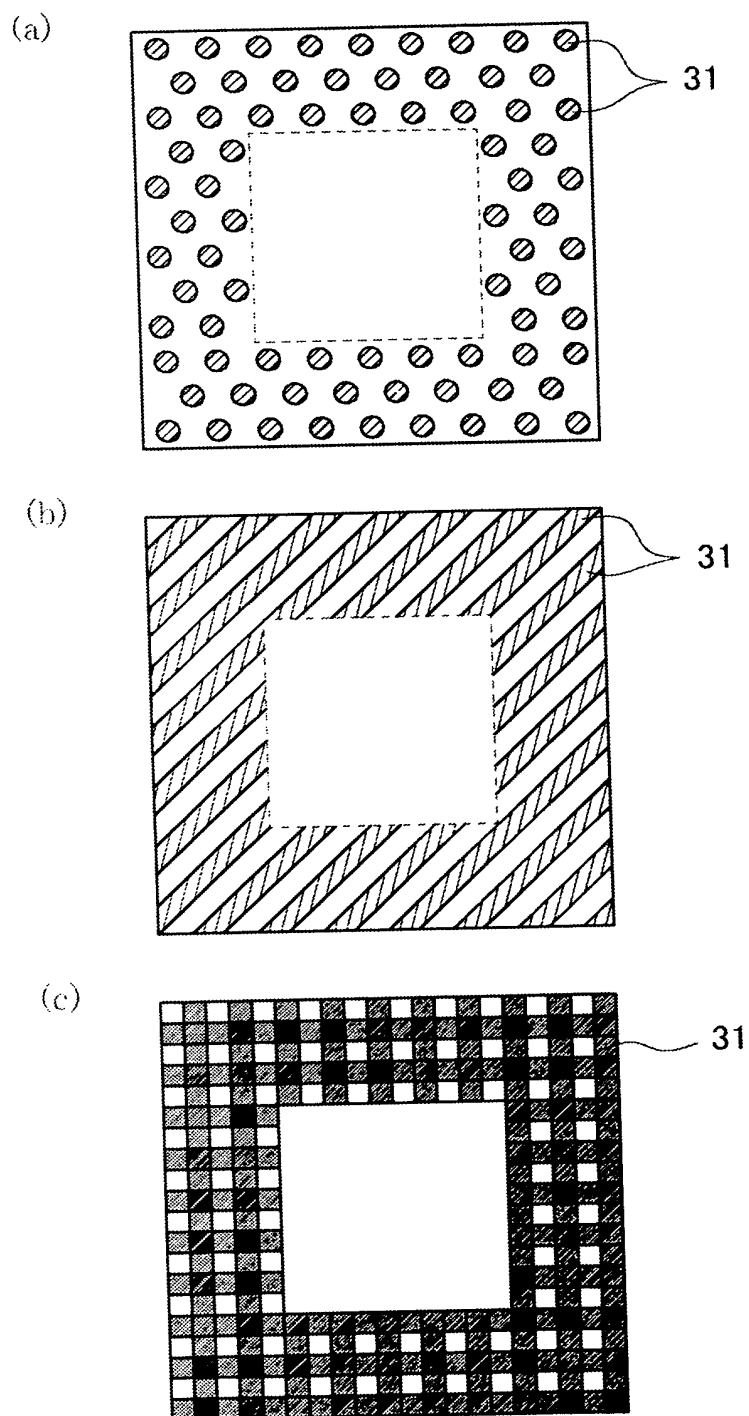
【図 5】



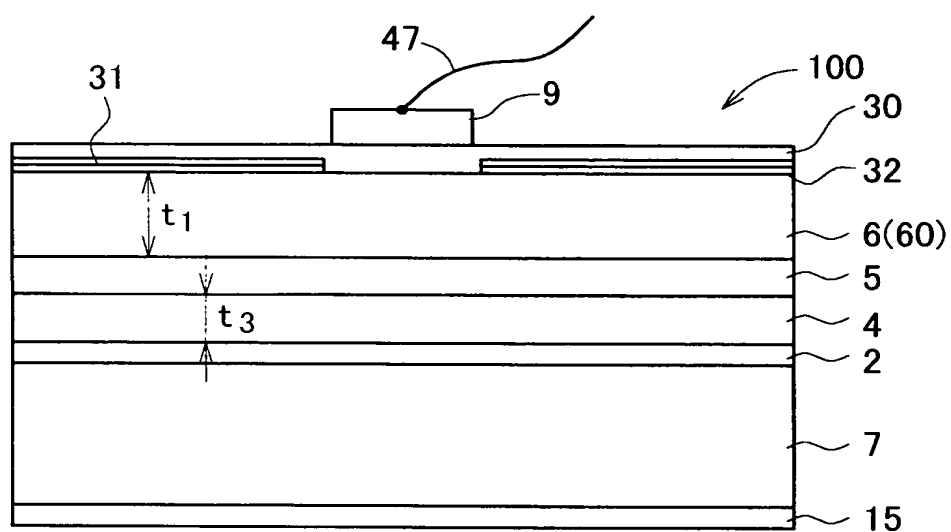
【図 6】



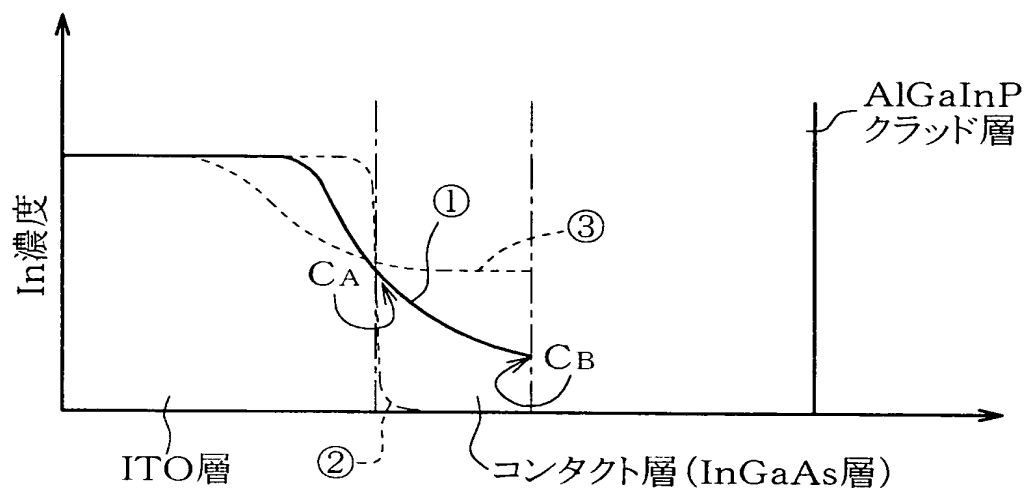
【図 7】



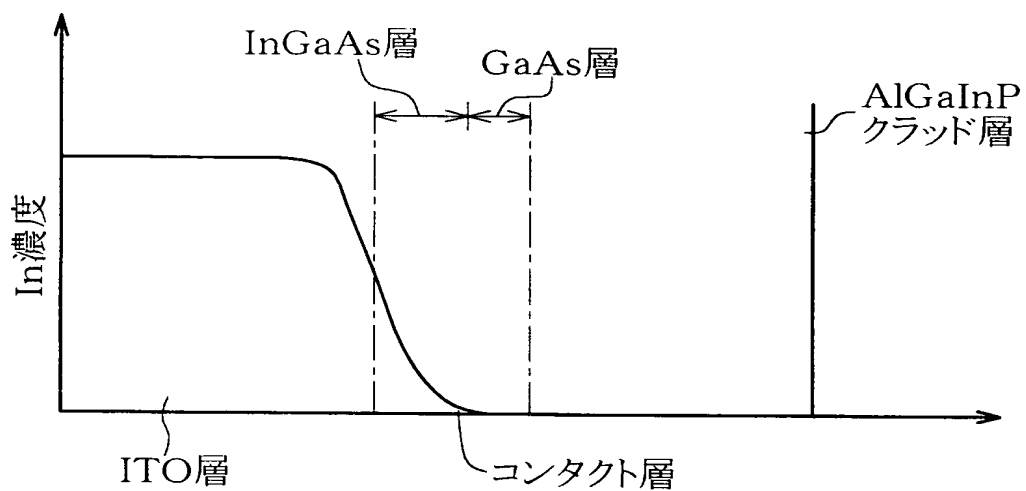
【図 8】



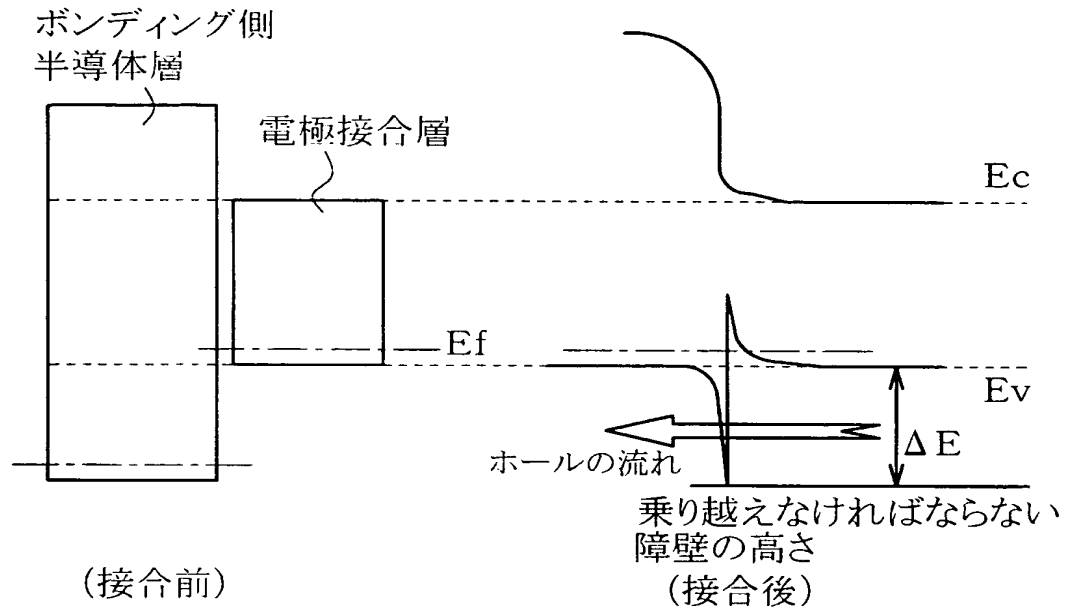
【図 9】



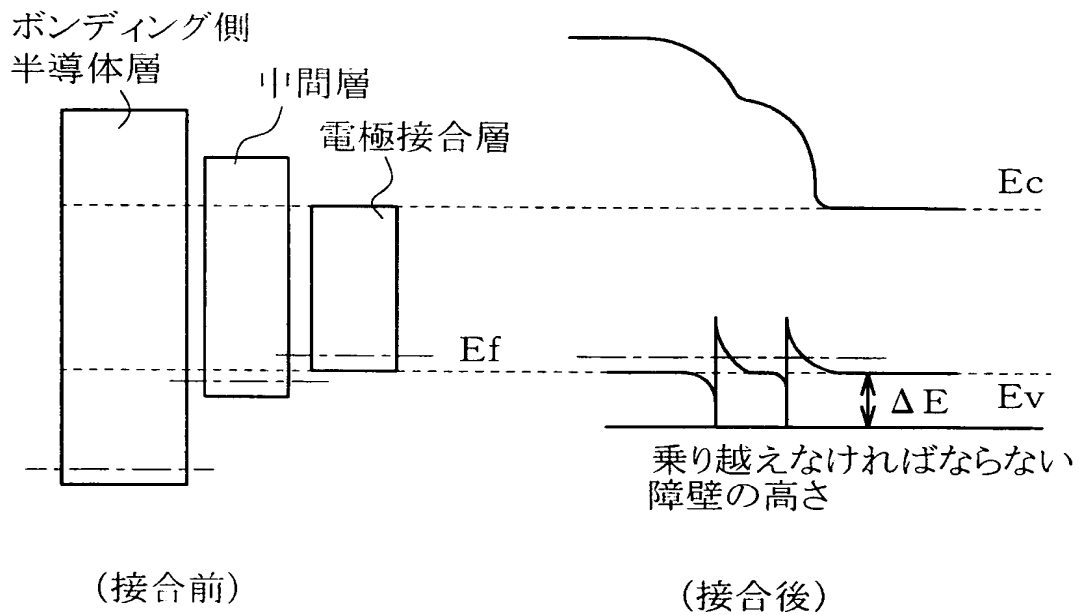
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 酸化物透明電極層を発光駆動用の電極として有し、かつ電極ワイヤをボンディングパッドへ溶接する際の損傷の影響が発光層部に及びにくい発光素子を提供する。

【解決手段】 発光素子 100 は、第一導電型クラッド層 4、活性層 5 及び第二導電型クラッド層 6 がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部 24 を有し、第二導電型クラッド層 6 の主表面を覆う酸化物透明電極層 30 を介して発光層部 24 に発光駆動電圧が印加される。酸化物透明電極層 30 上には金属製のボンディングパッド 9 が配置され、該ボンディングパッド 9 に通電用の電極ワイヤ 47 が接合されている。そして、活性層 5 と、酸化物透明電極層 30 に対する電極接合層 31 との間には、第二導電型クラッド層 6 とクッション層 20 よりなるボンディング側半導体層 60 が配置される。該ボンディング側半導体層 60 は、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下であり、かつ、厚さが $1.2 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下とされる。

【選択図】 図 1



特願 2 0 0 2 - 3 0 8 9 4 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 1 9 0 1 4 9]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 7 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番 2 号

氏 名

信越半導体株式会社

特願 2 0 0 2 - 3 0 8 9 4 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [5 0 1 0 4 5 0 2 1]

1. 変更年月日 2 0 0 1 年 1 1 月 8 日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都三鷹市下連雀 3 丁目 3 8 番 4 号
氏 名 株式会社ナノテコ
2. 変更年月日 2 0 0 2 年 1 月 2 5 日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都三鷹市下連雀 3 丁目 3 8 番地 4 号 三鷹産業プラザ 4 0
8
氏 名 株式会社ナノテコ